

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



525077

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
4. März 2004 (04.03.2004)

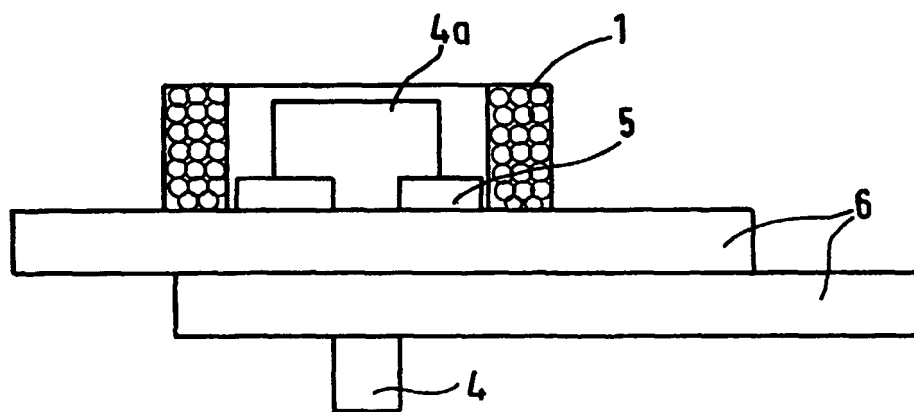
PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/018985 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation⁷: G01L 1/12
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/009085
- (22) Internationales Anmeldedatum:
16. August 2003 (16.08.2003)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
102 39 017.7 20. August 2002 (20.08.2002) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): EADS DEUTSCHLAND GMBH [DE/DE]; Willy-
Messerschmitt-Strasse, 85521 Ottobrunn (DE). AIRBUS
DEUTSCHLAND GMBH [DE/DE]; Kreetslag 10, 21129
Hamburg (DE).
- (72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ZIMMERMANN,
Werner [DE/DE]; Tannenstrasse 14, 85640 Putzbrunn
(DE). HALM, Jürgen [DE/DE]; Birkenweg 21, 27777
Ganderkesee (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): CA, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).
- Veröffentlicht:
— mit internationalem Recherchenbericht
— mit geänderten Ansprüchen
- Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Ab-
kürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Co-
des and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der
PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: METHOD FOR MEASURING STRESS/STRAIN USING BARKHAUSEN NOISES

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR SPANNUNGS-/DEHNUNGSMESSUNG MITTELS BARKHAUSENRAUSCHEN



(57) Abstract: The invention relates to a method for measuring stress/strain using Barkhausen noises. Said method is characterised in that an exciter element or a sensor element (1; 2, 3; 2,7) is arranged at least adjacently to a magnetic or magnetisable element (4; 5); the exciter element (1; 2) is subjected to an increasing magnetising current; and the Barkhausen noise occurring in the magnetic or magnetisable element (4; 5) according to the magnetising current is detected by the sensor element (1; 3; 7), the Barkhausen noise being a measure for the stress/strain state of the element (4; 5).

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung mittels Barkhausen-rauschen und ist dadurch gekennzeichnet, dass ein Erreger-/Sensormittel (1; 2, 3; 2,7) zumindest benachbart zu einem magnetischen oder magnetisierbaren Element (4; 5) angeordnet wird; dass das Erregermittel (1; 2) mit einem ansteigenden Magnetisierungsstrom beaufschlagt wird; dass das Einsetzen des Barkhausenrauschens in dem Element (4; 5) in Abhängigkeit des Magnetisierungsstromes mit Hilfe des Sensormittels (1; 3; 7) erfasst wird, wobei das Einsetzen des Barkhausenrauschens ein Maß für den Spannungs/Dehnungszustand des Elements (4; 5) ist.

WO 2004/018985 A1

Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung mittels Barkhausenrauschen

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Spannungs-/Dehnungs-
messung mittels Barkhausenrauschen. Die Erfindung findet beispielsweise An-
wendung zur Spannungs-/Dehnungsmessung von Bolzen oder Nieten am Flügel
oder Rumpf eines Flugzeuges, insbesondere während Wartungsarbeiten.

Bisher wurden z.B. zum Anziehen von Bolzen Drehmomentschlüssel verwendet,
bei gleichzeitiger Bestimmung der inneren Spannungen im Bolzen mittels Ultra-
schall-Geschwindigkeitsmessung. Dies setzt jedoch voraus, dass der Bolzen mit
einem Piezoelektrikum beschichtet oder beklebt ist, was den Bolzen erheblich ver-
teuert.

Zudem ist bekannt, mikromagnetische Verfahren und Sensoren, die auf dem Bark-
hausenrauschen basieren, zur Detektion von Materialveränderungen durch
Bearbeitungsprozesse einzusetzen. Hierbei wird die Kenntnis ausgenutzt, dass
die magnetische Struktur der Werkstoffe von den Materialeigenschaften beein-
flusst wird. Kristallitgrenzen und andere Inhomogenitäten wie Versetzungen,
Fremdatome und Einschlüsse behindern die Bewegung der sogenannten Bloch-
Wände. Das Ablösen der Wände von Inhomogenitäten führt zu Sprüngen in der
Magnetisierung, dem sogenannten Barkhausenrauschen. Mit einer Spule können
diese ruckartigen Bewegungen der Bloch-Wände in Form kurzer elektrischer Im-
pulse registriert werden. Die Anzahl, Höhe und Intensität der Impulse ist dabei ma-
terial- und zustandsabhängig.

Ein derartiges Verfahren zur zerstörungsfreien Materialcharakterisierung ferro-
magnetischer Stoffe ist beispielsweise in DE 196 31 311 C2 beschrieben. Das
Messprinzip basiert darauf, dass bei periodischer Ummagnetisierung eines Ferro-
magneten die magnetische Domainstruktur kontinuierlich verändert wird. Begren-
zungen zwischen Bereichen gleicher Magnetisierung (d.h. Bloch-Wände) bewegen

sich bei Magnetisierungsänderung durch das Werkstoffgefüge und treten mit der Mikrostruktur des Werkstoffes in Wechselwirkung. Diese Wechselwirkung wird als elektromagnetisches Signal - dem sogenannten Barkhausenrauschen - empfangen.

5

Derartige auf einer Analyse des Barkhausenrauschens basierende Verfahren werden im Allgemeinen bei der Qualitätskontrolle eingesetzt. Sie werden z.B. für die Optimierung verschiedener Bearbeitungsprozesse (Schleifen, Wärmebehandeln etc.) von Bauteilen eingesetzt. Die Bauteile können z.B. geschliffene Teile, No-

10 ckenwellen, Kurbelwellen, Lager, Zahnräder, Einspritzventile und zahlreiche andere Teile aus der Automobiltechnik sowie der Luft- und Raumfahrt sein.

15

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung zu schaffen, das schnell und mit geringem apparativem Aufwand in der Lage ist, insbesondere Spannungs-/Dehnungszustände von Befestigungsmitteln zu bestimmen.

20

Die Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass ein Erreger-/Sensormittel zumindest benachbart zu einem magnetischen oder magnetisierbaren Element - vorzugsweise zumindest in einem Teilbereich um das magnetische oder magnetisierbare Element - angeordnet wird; dass das Erregermittel mit einem ansteigenden Magnetisierungsstrom beaufschlagt wird; dass das Einsetzen des Barkhausenrauschens in dem Element in Abhängigkeit des Magnetisierungsstromes mit Hilfe des Sensormittels erfasst wird, wobei das Einsetzen des Barkhausenrauschens ein Maß für den Spannungs-/Dehnungszustand des Elements ist. Zweck-

25 mäßigerweise wird dabei das Einsetzen des Barkhausenrauschens durch Vergleichsmessung mit Referenzwerten ermittelt.

30

Die Erfindung hat den Vorteil, dass der physikalische Effekt des Barkhausenrauschens auf effektive Weise ausgenutzt wird. Der Spannungs-/Dehnungszustand eines magnetischen bzw. magnetisierbaren (vorzugsweise ferromagnetischen)

Elements wird durch einfaches Anbringen eines Erreger-/Sensormittels berührungslos bestimmt. Dabei wird das Element durch das vom Erregermittel erzeugte Magnetfeld magnetisiert und das Sensormittel erfasst das Barkhausenrauschen.

- 5 Es ist besonders zweckmäßig, das Erreger-/ Sensormittel einstückig auszubilden, vorzugsweise durch eine einzige Spule, die gleichzeitig als Erregermittel und Sensormittel dient. Das Sensormittel erfasst dabei den Magnetisierungsstrom, bei dem das Barkhausenrauschen auftritt, wobei der Magnetisierungsstrom proportional zur inneren Spannung im Element ist. Eine derartige Anordnung hat den Vorteil,
- 10 dass der apparative Aufwand so gering wie möglich gehalten wird.

- Gemäß einer alternativen Ausführungsform wird das Erregermittel wiederum durch eine Spule ausgebildet. Das Sensormittel zum Erfassen des Barkhausenrauschens ist jedoch ein akustischer oder interferometrischer Detektor. Derartige
- 15 Sensoren zeichnen sich insbesondere durch kleine Abmessungen vorteilhaft aus.

- Zweckmäßigerweise wird ein gepulster Magnetisierungsstrom verwendet, wobei das Sensormittel während der Auszeit der Impulse auf Empfang für das Barkhausenrauschen gestellt wird. Dies hat den Vorteil, dass höhere magnetische Felder erzeugt werden können, ohne das Erregermittel thermisch zu überlasten.
- 20

- Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform ist es vorteilhaft, zwischen dem magnetischen oder magnetisierbaren Element und einer damit in Verbindung zu bringenden Struktur (z.B. einem Bauteil) ein Zwischenelement aus nichtmagnetischem
- 25 oder nichtmagnetisierbarem Material anzuordnen. Das magnetische oder magnetisierbare Element ist beispielsweise ein Befestigungsmittel in Form eines Bolzens und das Zwischenelement kann eine Unterlegscheibe oder Ähnliches sein. Vorteilhaft bei dieser Ausführungsform ist, dass die auf Grund der Befestigung in dem Befestigungsmittel bestehenden Spannungen direkt gemessen werden. Die Unter-
- 30 legscheibe ist optional und besteht vorzugsweise aus nichtferromagnetischem Material.

Gemäß einer alternativen Ausführungsform ist es zweckmäßig, dass ein magnetisches oder magnetisierbares Element zunächst zwischen ein nichtmagnetisches oder nichtmagnetisierbares Befestigungsmittel und einer damit in Verbindung zu bringenden Struktur angeordnet wird. Vorteilhafterweise können somit auch Spannungs-/Dehnungszustände eines nicht magnetischen Befestigungsmittels bestimmt werden, da die von dem Befestigungsmittel auf ein vorzugsweise ferromagnetisches Element (z.B. Unterlegscheibe) übertragenen mechanischen Spannungen gemessen werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren findet bevorzugt bei der Messung von Spannungs-/Dehnungszuständen von Befestigungsmitteln (z.B. geschraubte oder gesteckte Bolzen, Nieten etc.) Anwendung. Das Verfahren ist vielfältig einsetzbar, beispielsweise bei der Wartung von Flugzeugen, Hubschraubern, Kraftfahrzeugen etc.

Nachstehend wird die Erfindung anhand der beigefügten Abbildungen in näheren Einzelheiten beschrieben; in denen zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer bevorzugten Anordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens;

Fig. 2 Darstellungen experimenteller Messwerte des Barkhausenrauschens;

Fig. 3 eine schematische Darstellung einer zu Fig. 1 alternativen Messanordnung; und

Fig. 4 eine schematische Darstellung einer alternativen Messanordnung an Hand einer genieteten Verbindung.

Fig. 1 zeigt einen Bolzen 4, der mit einer Struktur 6 in Verbindung steht. In der Regel dient der Bolzen 4 zur Befestigung, Fixierung oder Halterung der Struktur, welche mehrere Bauteile umfassen kann. Die Verbindung zwischen Bolzen 4 und Struktur 6 kann geschraubt, genietet, gesteckt oder dergleichen sein. Bei dem in
5 Fig. 1 gezeigten geschraubten Bolzen ist in der Regel eine Unterlegscheibe 5 zwischen dem Kopf 4a des Bolzens und der Struktur 6 angeordnet.

Zur Bestimmung des Spannungs-/Dehnungszustandes des Bolzens 4 wird in einem ersten Schritt die in Fig. 1 mit Bezugsziffer 1 bezeichnete Spule über den
10 Kopf 4a des Bolzens gestülpt. Die Spule 1 kann jedoch auch auf den Kopf 4a aufgesetzt sein oder benachbart zum Bolzen 4 angeordnet sein. Die Spule 1 dient gemäß einer bevorzugten Ausführungsform sowohl zur Erzeugung eines Magnetfeldes als auch zur Detektion des Barkhausenrauschens, was im folgenden in näheren Einzelheiten beschrieben wird. Anstelle der einzelnen Spule 1 können aber
15 auch separate Komponenten verwendet werden; beispielsweise eine erste Spule, die zur Erzeugung des Magnetfeldes dient, sowie eine zweite Spule, die zur Erfassung des Barkhausenrauschsignals dient. Im Folgenden wird auf die alternative Ausführungsform, bei der die Erregerspule mit Bezugsziffer 2 und die Sensorspule mit Bezugsziffer 3 bezeichnet wird, jeweils durch In-Klammern-Setzen der ent-
20 sprechenden Komponenten Bezug genommen.

Die Spule 1 (bzw. die Erregerspule 2) dient zunächst als Magnetisierungsspule und wird mit einem Magnetisierungsstrom zur Erzeugung eines Magnetfeldes erregt. Besteht der Bolzen 4 aus ferromagnetischem Material, so bewirkt das Magnetisierungsfeld, dass die Elementarmagnete durch das Magnetfeld der strom-
25 durchflossenen Spule 1 (bzw. der Erregerspule 2) ausgerichtet werden. Bekanntlich ist das Umklappen der Elementarmagnete ein sprunghafter Vorgang (s. Fig. 2), der eine Änderung des magnetischen Flusses zur Folge hat, wodurch in der Spule 1 (bzw. der Sensorspule 3) eine Spannungsänderung induziert wird. Dabei
30 ist der Beginn des Umklappens bzw. Ausrichtens der Elementarmagnete abhängig von der Magnetisierungsfeldstärke bzw. vom Magnetisierungsstrom sowie von

- inneren mechanischen Spannungen im Material. Eine an den Bolzen 4 angelegte Zugspannung wirkt dabei der Ausrichtung der Elementarmagnete entgegen bzw. die Elementarmagnete beginnen wieder in ihre ursprüngliche Ausrichtung umzuklappen. Dieses Umklappen der einzelnen Elementarmagnete erzeugt wiederum eine Änderung des magnetischen Flusses, wodurch in der Spule 1 (bzw. in der Sensorspule 3) Ströme induziert werden (sogenanntes Barkhausenrauschen). Da die zur Magnetisierung des Bolzens 4 notwendige magnetische Feldstärke bzw. der Magnetisierungsstrom auch eine Funktion der inneren mechanischen Spannung ist, kann der Spannungs-/Dehnungszustand des Bolzens 4 ermittelt werden.
- 10 Mit anderen Worten, ein kontinuierlich ansteigender Magnetisierungsstrom erzeugt ein stetig ansteigendes Magnetfeld in der Spule 1 (bzw. der Erregerspule 2), wobei bei Beginn des Barkhausenrauschens anliegende Magnetisierungsstrom ein Maß für die am Bolzen 4 anliegende Zugspannung ist.
- 15 In der Regel wird ein gepulster Magnetisierungsstrom verwendet, um die thermische Belastung der Spule 1 (bzw. der Erregerspule 2) so gering wie möglich zu halten. Gleichzeitig wird das Einsetzen des Barkhausenrauschens in Abhängigkeit des Magnetisierungsstromes durch die Spule 1 (bzw. durch die Sensorspule 3) überwacht. Die Messung erfolgt induktiv, wobei die Spule 1 jeweils während der Auszeit der Impulse des Magnetisierungsstromes auf Empfang für das Barkhausenrauschen gestellt ist. Zur genauen Bestimmung des Spannungs-/Dehnungszustandes werden als Referenz Vergleichsmessungen herangezogen, die zuvor an Bolzen (bzw. Nieten etc.) aus gleichem Material und gleicher Geometrie ermittelt wurden. Der Spannungs-/Dehnungszustand wird also durch Vergleichsmessungen mit zuvor bestimmen und beispielsweise in einer Tabelle elektronisch abgelegten Messwerten bestimmt.
- 25

- Ferner ist anzumerken, dass bei der Messung des Spannungs-/Dehnungszustandes eines z.B. ferromagnetischen Bolzens eine Unterlegscheibe aus nichtmagnetischem bzw. nichtmagnetisierbarem Material verwendet werden sollte, die nachstehend analog zu Fig.1 mit Bezugsziffer 5' bezeichnet wird.
- 30

Zudem kann mit dem erfindungsgemäßen Verfahren auch der Spannungs-/ Dehnungszustand eines nichtmagnetischen oder nichtmagnetisierbaren Bolzens bestimmt werden, der analog zur bisherigen Bezeichnungsweise nachstehend mit Bezugsziffer 4' bezeichnet wird. In diesem Fall wird eine Unterlegscheibe 5 aus magnetischem oder magnetisierbarem Material verwendet, so dass mit dem oben beschriebenen Messverfahren die vom Bolzen 4' auf die Unterlegscheibe 5 übertragene Spannung in entsprechender Weise bestimmt wird.

Alternativ kann das Barkhausenrauschen anstelle auf induktive Weise mittels Sensorspule 3 durch einen akustischen oder interferometrischen Detektor 7 erfasst werden, was in Fig. 3 schematisch dargestellt ist. Das der Erfindung zugrundeliegende Prinzip ist unverändert, lediglich das Barkhausenrauschen wird auf andere Weise erfasst. Der Detektor 7 kann beispielsweise ein Mikrophon oder ein Piezoelement sein, um nur einige Beispiele zu nennen.

Fig. 4 zeigt eine weitere alternative Messanordnung am Beispiel einer Nietverbindung. Die Niete ist in Fig. 4 mit Bezugsziffer 8 bezeichnet und die damit versehene Struktur, entsprechend zur Bezeichnungsweise in Fig. 1 bzw. Fig. 3, mit Bezugsziffer 6. In Fig. 4 sind ferner Erregerspule 2 und Sensorspule 3 separat, als Spulenwicklungen um einen Kern 9 dargestellt. Die Erregerspule 2 wird wiederum mit einer variablen Magnetisierung beaufschlagt und die Sensorspule 3 erfasst induzierte Spannungen durch Umlappen der Domänen. Anstelle der Sensorspule 3 kann auch hier zur Detektion des Barkhausenrauschens ein akustischer oder interferometrischer Detektor 7 verwendet werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung mittels Barkhausenrauschen, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Erreger-/Sensormittel (1; 2, 3; 2, 7) zumindest benachbart zu einem magnetischen oder magnetisierbaren Element (4; 5) angeordnet wird; dass das Erregermittel (1; 2) mit einem ansteigenden Magnetisierungsstrom beaufschlagt wird; dass das Einsetzen des Barkhausenrauschens in dem Element (4; 5) in Abhängigkeit des Magnetisierungsstromes mit Hilfe des Sensormittels (1; 3; 7) erfasst wird, wobei das Einsetzen des Barkhausenrauschens ein Maß für den Spannungs-/Dehnungszustand des Elements (4; 5) ist.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Einsetzen des Barkhausenrauschens durch Vergleichsmessungen mit Referenzwerten ermittelt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein gepulster Magnetisierungsstrom verwendet wird, wobei das Sensormittel (1; 3; 7) während der Auszeit der Impulse das Signal des Barkhausenrauschens erfasst.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen dem magnetischen oder magnetisierbaren Element (4) und einer damit in Verbindung zu bringenden Struktur (6) ein Zwischenelement (5') aus nichtmagnetischem oder nichtmagnetisierbarem Material angeordnet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das magnetische oder magnetisierbare Element (5) vor Bestimmung seines Spannungs-/Dehnungszustandes zwischen ein nichtmagnetisches oder nichtmagnetisierbares Befestigungselement (4') und einer damit in Verbindung zu bringenden Struktur (6) angeordnet wird.

6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Magnetisierungsstrom proportional zur inneren Spannung des Elements (4; 5) ist.

5 7. Verwendung des Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche zur Messung von Spannungs-/Dehnungszuständen in geschraubten, gesteckten oder genieteten Befestigungsmitteln.

GEÄNDERTE ANSPRÜCHE

[beim Internationalen Büro am 17. Februar 2004 (17.02.04) eingegangen;
ursprünglicher Anspruch 1-2 geändert; alle weiteren Ansprüche unverändert (2 Seiten)]

- 5 1. Verfahren zur Spannungs-/Dehnungsmessung von magnetischen oder
magnetisierbaren Elementen mittels Barkhausenrauschen, wobei ein
Erreger-/Sensormittel (1; 2, 3; 2, 7) zumindest benachbart zu einem
magnetischen oder magnetisierbaren Element (4; 5) angeordnet wird, das
Erregermittel (1; 2) mit einem Magnetisierungsstrom beaufschlagt wird, und
10 das Barkhausenrauschen mit Hilfe des Sensormittels (1; 3; 7) erfasst wird,
dadurch gekennzeichnet, dass das Erregermittel (1; 2) mit einem
kontinuierlich ansteigenden Magnetisierungsstrom beaufschlagt wird;
dass der Magnetisierungsstrom bei Einsetzen des Barkhausenrauschens
erfasst und der Spannungs-/Dehnungszustand des Elements (4; 5) mittels
15 Referenzmesswerten von Vergleichsmessungen ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Erreger-
/Sensormittel (1; 2, 3; 2, 7) zumindest teilweise das magnetische oder
magnetisierbare Element (4; 5) umgebend angeordnet wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein
gepulster Magnetisierungsstrom verwendet wird, wobei das Sensormittel
(1; 3; 7) während der Auszeit der Impulse das Signal des
Barkhausenrauschens erfasst.
- 25 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet,
dass zwischen dem magnetischen oder magnetisierbaren Element (4) und
einer damit in Verbindung zu bringenden Struktur (6) ein Zwischenelement
(5') aus nichtmagnetischem oder nichtmagnetisierbarem Material
30 angeordnet wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet,**
5 **dass das magnetische oder magnetisierbare Element (5) vor Bestimmung**
seines Spannungs-/Dehnungszustandes zwischen ein nichtmagnetisches
oder nichtmagnetisierbares Befestigungselement (4') und einer damit in
Verbindung zu bringenden Struktur (6) angeordnet wird.
6. Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch**
10 **gekennzeichnet, dass der Magnetisierungsstrom proportional zur inneren**
Spannung des Elements (4; 5) ist.
7. Verwendung des Verfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche
15 **zur Messung von Spannungs-/Dehnungszuständen in geschraubten,**
gesteckten oder genieteten Befestigungsmitteln.

FIG.1

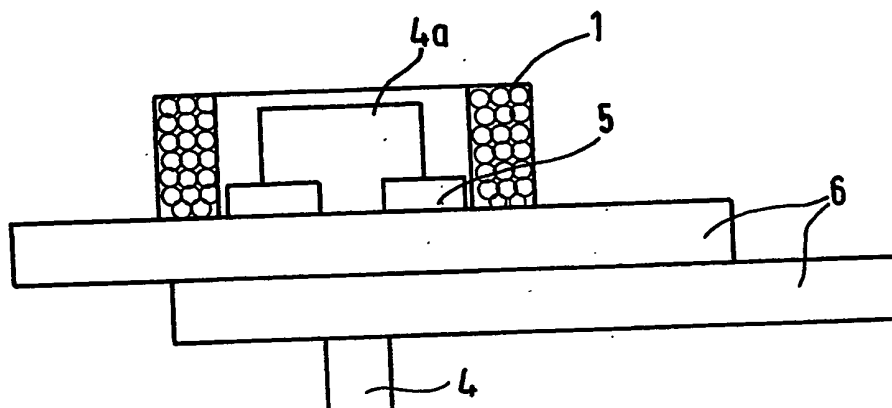


FIG.2

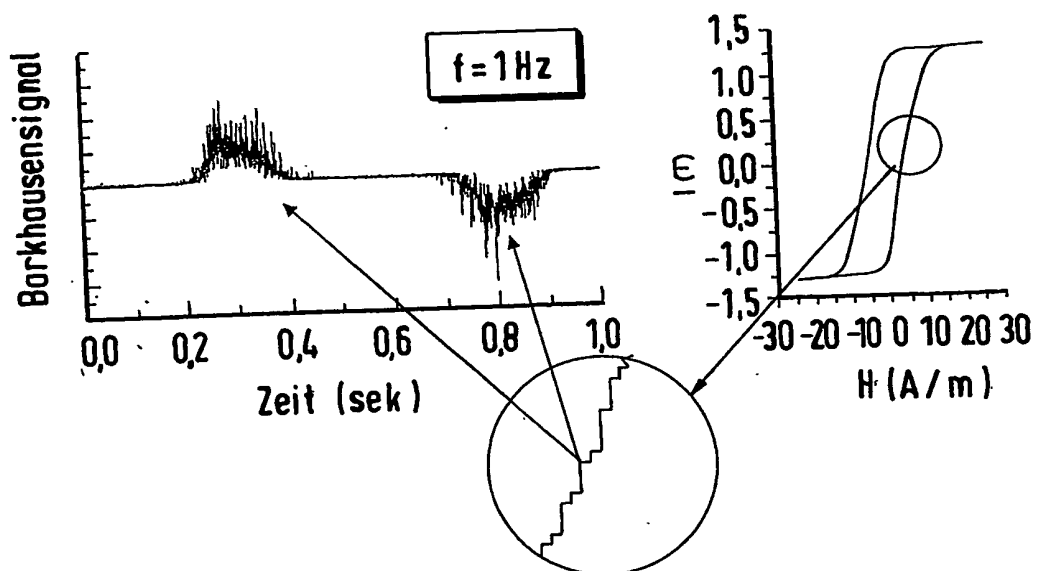


FIG.3

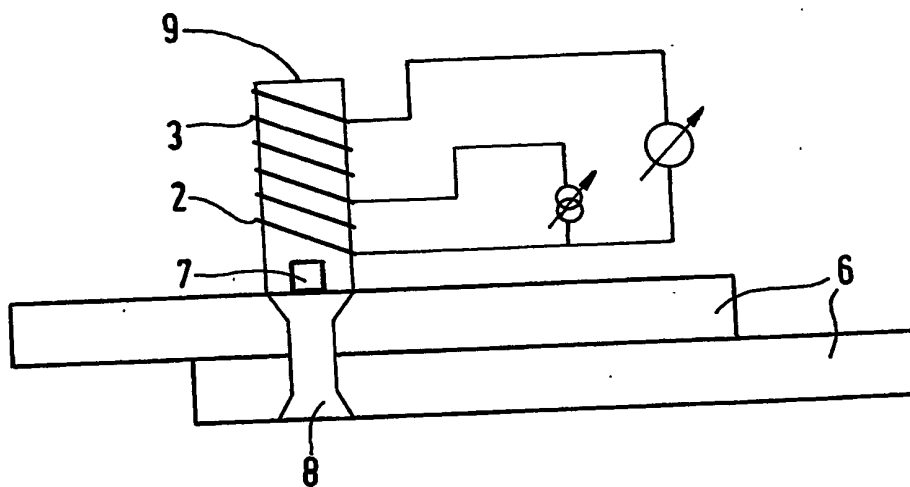
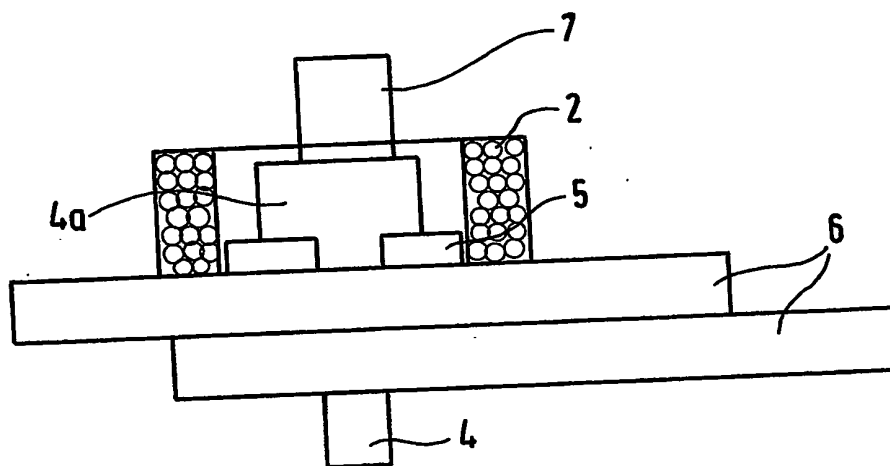


FIG.4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/03/09085

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 G01L1/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 7 G01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 931 730 A (OLSEN TERJE ET AL) 5 June 1990 (1990-06-05) the whole document	1-4,7
X	US 4 634 976 A (TIITTO SEPPO I) 6 January 1987 (1987-01-06) column 4, paragraphs 1-3 column 7 column 8, paragraph 1 - paragraph 3	1,2,6
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 06, 4 June 2002 (2002-06-04) & JP 2002 039932 A (TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB INC), 6 February 2002 (2002-02-06) abstract	1-7
	--- -/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

G document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 December 2003

Date of mailing of the international search report

17/12/2003

Name and mailing address of the ISA
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Zafiropoulos, N

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/03/09085

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 4 977 373 A (TIITTO SEPPÖ I) 11 December 1990 (1990-12-11) the whole document -----	1-7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/03/09085

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4931730	A	05-06-1990	NO 860591 A AU 603354 B2 AU 7029287 A BR 8706029 A CA 1282829 C CN 87100765 A ,B DK 541687 A EP 0259435 A1 ES 2002963 A6 FI 874574 A ,B, IN 169213 A1 JP 63502457 T MX 170521 B WO 8705112 A1	18-08-1987 15-11-1990 09-09-1987 23-02-1988 09-04-1991 18-11-1987 16-10-1987 16-03-1988 01-10-1988 16-10-1987 14-09-1991 14-09-1988 30-08-1993 27-08-1987
US 4634976	A	06-01-1987	CA 1236530 A1 DE 3484692 D1 EP 0125064 A2 JP 1949036 C JP 6076993 B JP 60057247 A KR 8702132 B1	10-05-1988 18-07-1991 14-11-1984 10-07-1995 28-09-1994 03-04-1985 09-12-1987
JP 2002039932	A	06-02-2002	NONE	
US 4977373	A	11-12-1990	CA 1296387 C CN 1040094 A DE 68908363 D1 DE 68908363 T2 EP 0372030 A1 WO 8910558 A1	25-02-1992 28-02-1990 16-09-1993 13-01-1994 13-06-1990 02-11-1989

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 G01L1/12

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 7 G01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
X	US 4 931 730 A (OLSEN TERJE ET AL) 5. Juni 1990 (1990-06-05) das ganze Dokument	1-4,7
X	US 4 634 976 A (TIITTO SEPPO I) 6. Januar 1987 (1987-01-06) Spalte 4, Absätze 1-3 Spalte 7 Spalte 8, Absatz 1 - Absatz 3	1,2,6
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 2002, no. 06, 4. Juni 2002 (2002-06-04) & JP 2002 039932 A (TOYOTA CENTRAL RES & DEV LAB INC), 6. Februar 2002 (2002-02-06) Zusammenfassung	1-7

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen☒ Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
 - *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
 - *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
 - *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
 - *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

G Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

5. Dezember 2003

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

17/12/2003

Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Zafiropoulos, N

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 4 977 373 A (TIITTO SEPPÖ I) 11. Dezember 1990 (1990-12-11) das ganze Dokument -----	1-7

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4931730 A	05-06-1990	NO 860591 A	18-08-1987
		AU 603354 B2	15-11-1990
		AU 7029287 A	09-09-1987
		BR 8706029 A	23-02-1988
		CA 1282829 C	09-04-1991
		CN 87100765 A ,B	18-11-1987
		DK 541687 A	16-10-1987
		EP 0259435 A1	16-03-1988
		ES 2002963 A6	01-10-1988
		FI 874574 A ,B,	16-10-1987
		IN 169213 A1	14-09-1991
		JP 63502457 T	14-09-1988
		MX 170521 B	30-08-1993
		WO 8705112 A1	27-08-1987
US 4634976 A	06-01-1987	CA 1236530 A1	10-05-1988
		DE 3484692 D1	18-07-1991
		EP 0125064 A2	14-11-1984
		JP 1949036 C	10-07-1995
		JP 6076993 B	28-09-1994
		JP 60057247 A	03-04-1985
		KR 8702132 B1	09-12-1987
JP 2002039932 A	06-02-2002	KEINE	
US 4977373 A	11-12-1990	CA 1296387 C	25-02-1992
		CN 1040094 A	28-02-1990
		DE 68908363 D1	16-09-1993
		DE 68908363 T2	13-01-1994
		EP 0372030 A1	13-06-1990
		WO 8910558 A1	02-11-1989